
STUDI PENGARUH GELOMBANG TERHADAP KERUSAKAN BANGUNAN PANTAI *HYBRID ENGINEERING* DI DESA TIMBULSLOKO, DEMAK

Hudan Baskoro, Warsito Atmodjo, Purwanto.

Program Studi Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H, Tembalang, Semarang. 50275 Telp/fax (024)7474698

Abstrak

Desa Timbulsloko merupakan salah satu daerah pesisir yang terletak di Kabupaten Demak yang telah mengalami erosi pantai yang cukup parah. Untuk mengatasi hal tersebut maka pemerintah melakukan pembangunan bangunan pantai yang berfungsi untuk memerangkap sedimen sebagai area taman mangrove dan sekaligus sebagai penahan gelombang yaitu bangunan pantai *Permeable Dams Hybrid Engineering* yang terinspirasi dari sistem perakaran mangrove. Bangunan ini dibangun pada bulan Nopember 2013, tetapi pada bulan Januari 2015 diketahui telah mengalami kerusakan yang dimungkinkan dikarenakan adanya gelombang ekstrim yang terjadi di lokasi pembangunan bangunan pantai *Hybrid Engineering*. Tujuan dan manfaat penelitian ini adalah untuk mengetahui waktu terjadi dan nilai parameter gelombang penyebab kerusakan bangunan pantai *Hybrid Engineering* serta perbandingan data perencanaan bangunan dan data pada waktu terjadi gelombang ekstrim di lokasi pembangunan bangunan pantai *Hybrid Engineering*. Metode yang digunakan adalah studi kasus. Pengolahan data angin adalah menggunakan metode *Darbyshire* sedangkan untuk pasang surut menggunakan metode *Admiralty*. Hasil dari penelitian gelombang lapangan didapatkan bahwa nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) 0,4 m dengan periode signifikan 3,25 detik. Sedangkan hasil pengolahan data didapatkan gelombang ekstrim terjadi pada tanggal 17 hingga 26 Januari 2015 antara pukul 00.00 hingga 03.00 WIB dengan tinggi gelombang maksimal 4,12 m dan periode gelombang 8,83 detik. Gelombang ekstrim ini memiliki tenaga sebesar 31.618 N per meter panjang puncak gelombang. Dari pengolahan data tersebut didapatkan nilai elevasi puncak bangunan adalah 15,45 m. Berdasarkan perbandingan data bangunan perencanaan dengan data bangunan pada saat terjadi gelombang ekstrim, diketahui bahwa nilai variabel gelombang yang terjadi pada saat gelombang ekstrim melebihi dari kemampuan toleransi bangunan yang mengakibatkan kerusakan bangunan.

Kata kunci: Gelombang, Bangunan Pantai, *Hybrid Engineering*, Timbulsloko, Demak.

Abstract

Timbulsloko village is the one of coastal area in Demak district that have serious problem about tidal flood and also one of area that affected by erosion and abrasion impact. For solving that problem, the government build a coastal building which has function to trapping sediment for mangrove planting area and also for wave restrain, the building is *Permeable Dams Hybrid Engineering*, this building is inspired by rooting system of mangrove. This building has built at Nopember 2013 but at Januari 2015 this building has damaged. That damages probably caused by ekstreme wave has happened on this location of *Hybrid Engineering* building. The benefits of this research are for find out the wave's parameters values, when was the extrem wave happen on this location of *Hybrid Engineering* building which caused damage of this building and to know comparison of building planning data with building data when the extrem wave happen. The method used a case study methods. Data processing for wind data is using *Darbyshire* methods, and for tidal data using *Admiralty* methods. The results from field observation are wave height significant (H_s) is 0,4 m and wave period significant (T_s) is 3,25 s. And the results from processing secondary data are the extreme wave happened on 17 – 26 January 2015 at 00.00 – 03.00 WIT and maximum wave height as 4,12 m with wave period 8,83 s. This extreme wave have power of 31.618 N per meter length of wave's top. From the processing data the elevation of the building's top known as 15,45 m. According from comparison of building's planning data with building's data when the exstrem wave occurs known that wave's variable when the extreme wave occurs surpass of building's tolerate ability that cause the damage of the building.

Keywords: Wave, Coastal Building, *Hybrid Engineering*, Timbulsloko, Demak.

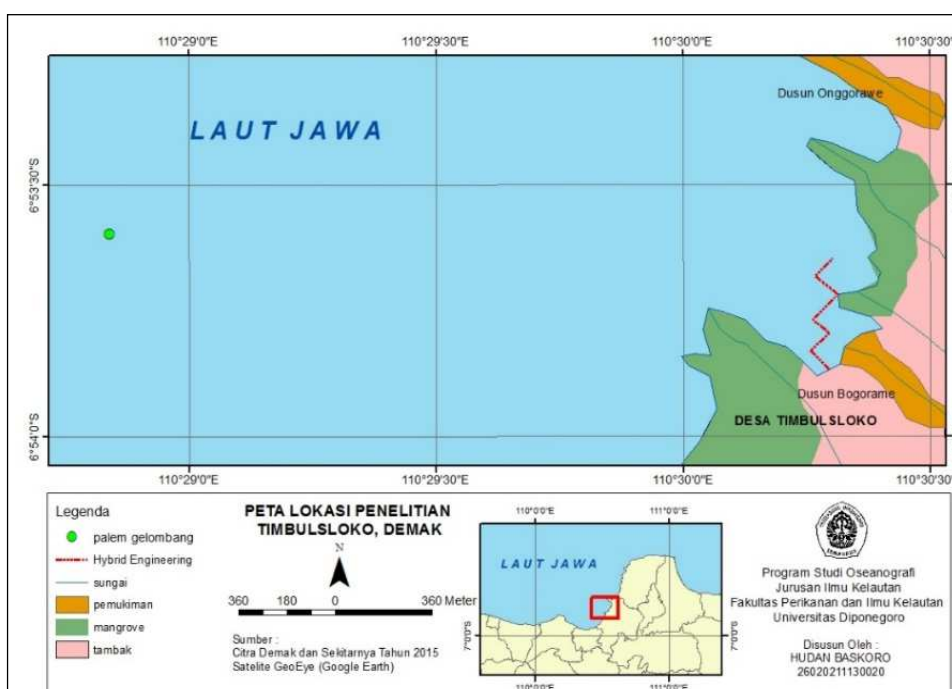
1. Pendahuluan

Wilayah Desa Timbulsloko, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Wilayah ini sangat rawan dengan bencana banjir yang disebabkan oleh adanya gelombang pasang surut air laut atau dinamakan dengan banjir Rob (Subarjo, 2004). Bangunan *Hybrid Engineering* adalah salah satu jenis bangunan pantai yang memiliki cara kerja terinspirasi dari alam, yaitu bentuk dari akar mangrove. Bangunan pantai ini berfungsi untuk memerangkap sedimen yang terbawa ke daratan oleh air pasang pada saat terjadi proses pasang surut air laut terjadi, dan menahan sedimen tersebut agar tidak kembali ke laut pada saat terjadi air surut. Bangunan *Hybrid Engineering* telah dibangun sejak tahun 2013 di desa Timbulsloko, Kabupaten Demak dan telah mampu menahan sedimen yang terbawa arus dan gelombang dari laut lepas ke daratan, sehingga dengan bangunan *Hybrid Engineering* ini maka terbentuknya lahan baru bersubstrat lumpur yang cocok digunakan untuk pertumbuhan ekosistem mangrove. Akan tetapi di awal tahun 2015 bangunan ini mengalami kerusakan yang mengakibatkan sedimen yang awalnya berhasil ditangkap dan sudah mengalami perubahan kedalaman sekarang kembali tergerus dan hilang.

2. Materi dan Metode

Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengukuran gelombang di lapangan selama 3 hari di Desa Timbulsloko, Kabupaten Demak. Penelitian ini menggunakan data utama dan pendukung, data utama yang digunakan data gelombang yang di dapat dengan pengukuran langsung di lapangan dan data pendukung yaitu data angin selama 5 tahun dari tahun 2010 hingga 2014 dan data Pasang Surut yang di dapat dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi kasus. Pengambilan data lapangan berupa data gelombang laut menggunakan alat palem gelombang selama 3 hari dan data angin menggunakan anemometer untuk mengetahui kecepatan angin. Titik koordinat garis pantai dan lokasi penelitian digunakan GPS (*Global Positioning System*) untuk mendukung penelitian. Lokasi penelitian berada di desa Timbulsloko, Kabupaten Demak, Jawa Tengah di koordinat $6^{\circ}53'44,81''$ LS – $6^{\circ}54'13,96''$ LS dan $110^{\circ}28'46,16''$ BT – $110^{\circ}30'32,2''$ BT (**Gambar 1**).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Data angin harian selama 5 tahun dibutuhkan untuk melakukan peramalan gelombang. Data angin dari BMKG Pelabuhan Tanjung Mas digunakan karena alat pengamatan angin merekam data kecepatan angin secara otomatis pada ketinggian 10 meter dari dpl (daerah permukaan laut). Data yang didapatkan sangat komphrehensif sehingga kecepatan dan arah angin lebih akurat. Sedangkan data pasang surut yang didapatkan dari BMKG merupakan data pasang surut tahun 2015.

Peramalan Gelombang menggunakan metode Darbyshire yang dimodifikasi dengan persamaan konversi nilai kecepatan angin menjadi nilai H_s dan T_s (Sugianto, 2013) yaitu :

$$H_s = 0,0016 U^2 + 0,0406(U) \dots\dots\dots(1)$$

$$T_s = 0,15U + 2,892 \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

U = Kecepatan angin

H_s = Tinggi gelombang signifikan

T_s = Periode gelombang signifikan

Data lapangan terdiri dari tinggi dan periode gelombang. Data tersebut diurutkan dari tertinggi ke terendah. Nilai (H_n) merupakan rerata gelombang tertinggi. Nilai H_1 sampai H_n diurutkan untuk dicari nilai tertingginya atau H_{max} . Nilai minimum atau H_{min} merupakan nilai terendah dari H_1 sampai H_n . Nilai H signifikan (H_s) yang digunakan adalah H_{33} . Besar H_s adalah tinggi rerata dari 33% nilai tertinggi dari pencatatan gelombang. Cara tersebut juga digunakan untuk menghitung T_{max} , T_s , dan T_{min} . Nilai H_s dan T_s diolah menggunakan rumus berikut :

$$n = 33,3\% \times \text{jumlah data} \dots\dots\dots(3)$$

$$H_s = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n}{n} \dots\dots\dots(4)$$

$$T_s = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n}{n} \dots\dots\dots(5)$$

Verifikasi data dilakukan untuk mengetahui tingkat validitas hasil peramalan gelombang. Data gelombang peramalan di verifikasi dengan gelombang hasil dari pengamatan lapangan berupa nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode signifikan (T_s). Kemudian dihitung nilai kesalahan relatif atau *Relatif Error* (RE). Nilai RE tidak akan menjadi masalah apabila nilainya tidak mencapai angka 50 %. Menurut Riyanto (2004) dalam Purwanto (2011) untuk menghitung nilai *Relatif Error* menggunakan persamaan :

$$RE = \frac{|X - C|}{X} \times 100 \% \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

RE = *Relative Error* (%)

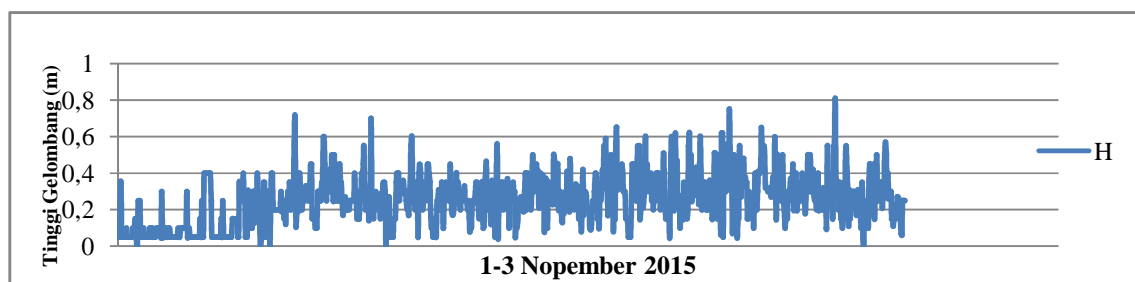
C = Nilai hasil peramalan

X = Nilai hasil pengamatan lapangan

3. Hasil dan Pembahasan

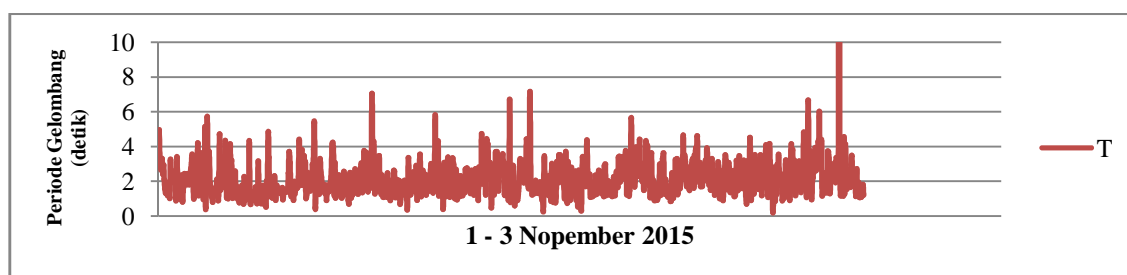
Hasil Pengukuran Gelombang Lapangan

Data gelombang lapangan diperoleh dari pemasangan palem gelombang di kedalaman 1,5 m. Grafik pengukuran tinggi disajikan pada **Gambar 2**. Berdasarkan **gambar 2** data lapangan didapatkan nilai tinggi gelombang tertinggi adalah 0,81 m dan nilai tinggi gelombang terendah adalah 0 m.



Gambar 2. Tinggi Gelombang (H) Lapangan (Pengolahan Data, 2015).

Periode Gelombang tanggal 1-3 Nopember 2015 disajikan pada **gambar 3**. Berdasarkan **gambar 3** data lapangan didapatkan nilai periode gelombang maksimal adalah 7,15 detik dan nilai periode gelombang minimal adalah 0,2 detik.



Gambar 3. Periode Gelombang (T) Lapangan (Pengolahan Data, 2015).

Pengolahan data didapatkan nilai tinggi dan periode gelombang lapangan yang ditampilkan pada **Tabel 1**. Berdasarkan hasil pengolahan data didapatkan nilai tinggi gelombang lapangan yaitu H_{max} sebesar 0,81 m, H_{min} sebesar 0,3 m dan didapatkan H_s sebesar 0,4 m. Sedangkan nilai periode gelombang lapangan yaitu T_{max} sebesar 7,15 detik, T_{min} sebesar 2,39 detik dan T_s sebesar 3,25 detik.

Tabel 1. Nilai Maksimum, Signifikan dan Minimum Parameter H dan T Lapangan 1-3 November 2015

Waktu	Keterangan	$H(m)$	$T(Detik)$
1-3 Nopember	Maksimum	0,81	7,15
	Signifikan	0,4	3,25
	Minimum	0,3	2,39

(Pengolahan Data, 2015).

Angin Pembangkit Gelombang

Peramalan gelombang digolongkan setiap bulan. Data angin BMKG 2010-2014 dikelompokkan setiap bulan menghasilkan arah angin dominan setiap bulan. Arah dan kecepatan angin diolah menggunakan *software WRPlot*. Hasil arah dan kecepatan angin dominan ditunjukkan dalam bentuk tabel dan grafik *windrose* (**Lampiran 1**).

Hasil arah dan kecepatan angin dominan dalam bentuk tabel pada musim Barat (bulan Desember hingga Februari) tahun 2010-2014 ditunjukkan pada **Tabel 2**. Berdasarkan Tabel tersebut dapat diketahui bahwa pada bulan Desember tahun 2010 – 2014 memiliki arah angin dominan barat laut dengan kecepatan maksimal sebesar 10,3 m/s. Sedangkan bulan Januari tahun 2010 – 2014 memiliki arah dominan Barat dengan kecepatan maksimal 10,3 m/s. Untuk bulan Februari tahun 2010 – 2014 memiliki arah angin dominan barat laut dengan kecepatan maksimal 9,7 m/s.

Tabel 2. Arah Angin dan Kecepatan Dominan Musim Barat Tahun 2010 - 2014

Bulan	Arah Angin	Kecepatan
Desember	N 315° E	10,3 m/s
Januari	N 270° E	10,3 m/s
Februari	N 315° E	9,7 m/s

(Pengolahan Data, 2015)

Hasil arah dan kecepatan dominan pada Musim Peralihan I (bulan Maret hingga Mei) tahun 2010 – 2014 dalam bentuk tabel ditunjukkan dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Arah Angin dan Kecepatan Dominan Musim Peralihan I Tahun 2010 - 2014

Bulan	Arah Angin	Kecepatan
Maret	N 315° E	10,3 m/s
April	N 90° E	9,3 m/s
Mei	N 90° E	8,5 m/s

(Pengolahan Data, 2015)

Berdasarkan dari **tabel 3** dapat diketahui bahwa pada bulan Maret memiliki arah angin dominan barat laut dengan kecepatan angin maksimal adalah 10,3 m/s. Sedangkan di bulan April dan Mei memiliki arah angin dominan timur dengan kecepatan angin maksimal bulan April adalah 9,3 m/s dan bulan Mei 8,5 m/s.

Hasil arah dan kecepatan dominan pada Musim Timur (bulan Juni hingga Agustus) tahun 2010 – 2014 dalam bentuk tabel ditunjukkan dalam **Tabel 4**.

Tabel 4. Arah Angin dan Kecepatan Dominan Musim Timur Tahun 2010 - 2014

Bulan	Arah Angin	Kecepatan
Juni	N 90° E	6,2 m/s
Juli	N 90° E	5,6 m/s
Agustus	N 90° E	9,3 m/s

(Pengolahan Data, 2015)

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa pada musim Timur tahun 2010 – 2014 memiliki arah angin dominan yang sama yaitu dari arah Timur, Kecepatan maksimum yang terjadi di bulan Juni adalah 6,2 m/s. Sedangkan di bulan Juli kecepatan maksimum yang terjadi adalah 5,6 m/s. Bulan Agustus kecepatan angin maksimum adalah 9,3 m/s.

Hasil arah dan kecepatan dominan pada Musim Timur (bulan Juni hingga Agustus) tahun 2010 – 2014 dalam bentuk tabel ditunjukkan dalam **Tabel 5**. Berdasarkan **tabel 5** dapat diketahui bahwa pada musim Peralihan II (Bulan September hingga Nopember) tahun 2010 – 2014 memiliki arah angin dominan yang sama yaitu dari arah Timur, Kecepatan maksimum yang terjadi di bulan September dan Oktober adalah 8,7 m/s. Sedangkan Bulan Nopember kecepatan angin maksimum adalah 9,3 m/s.

Tabel 5. Arah Angin dan Kecepatan Dominan Musim Peralihan II Tahun 2010 - 2014

Bulan	Arah Angin	Kecepatan
September	N 90° E	8,7 m/s
Oktober	N 90° E	8,7 m/s
Nopember	N 90° E	9,3 m/s

(Pengolahan Data, 2015)

Nilai Tinggi Gelombang Signifikan (Hs) dan Periode Gelombang Signifikan (Ts)

Hasil dari perhitungan data angin menjadi nilai tinggi dan periode gelombang tersebut dapat dilihat pada **Tabel 6**. Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa Gelombang tertinggi terjadi pada bulan Desember, Februari, dan April yang memiliki tinggi 0,59 m dengan periode 4,44 detik

Tabel 6. Hasil Pengolahan Hs dan Ts perbulan tahun 2010 – 2014

Bulan	Kecepatan (knots)	Kecepatan (m/det)	Tinggi Gelombang Signifikan Hs (m)	Periode Gelombang Signifikan Ts (det)
Desember	20	10,3	0,59	4,44
Januari	18,9	9,7	0,55	4,35
Februari	20,0	10,3	0,59	4,44
Maret	18,0	9,3	0,51	4,28
April	20	10,3	0,59	4,44
Mei	16,5	8,5	0,46	4,17
Juni	0,0	0,0	0,00	0,00
Juli	0	0,0	0,00	0,00
Agustus	18,0	9,3	0,51	4,28
September	17,0	8,7	0,48	4,20
Oktober	17,0	8,7	0,48	4,20
Nopember	18,0	9,3	0,51	4,28

(Pengolahan Data, 2015)

Tenaga Gelombang

Hasil dari pengolahan data tenaga gelombang yang didasarkan atas nilai periode gelombang signifikan (Ts), Panjang gelombang di laut dalam (Lo), Tinggi gelombang di laut dalam (H'o), dan kecepatan rambat gelombang di laut dalam (Co). Hasil lengkap disajikan dalam **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil pengolahan data tenaga gelombang tahun 2010 – 2014

Bulan	Ts	Lo	H'o	Co	P
Desember	4,44	30,753	0,574	6,9264	1432,72
Januari	4,35	29,519	0,500	6,786	1065,084
Februari	4,44	30,753	0,574	6,9264	1432,72
Maret	4,28	28,577	0,502	6,6768	1056,345
April	4,44	30,753	0,574	6,9264	1432,72
Mei	4,17	27,127	0,457	6,5052	852,9489
Juni	0	0,000	0,000	0	0
Juli	0	0,000	0,000	0	0
Agustus	4,28	28,577	0,502	6,6768	1056,345
September	4,2	27,518	0,476	6,552	932,0039
Oktober	4,2	27,518	0,476	6,552	932,0039
Nopember	4,28	28,577	0,502	6,6768	1056,345

(Pengolahan Data, 2015)

Elevasi Muka Air Laut Rencana

Hasil perhitungan nilai elevasi puncak bangunan dan nilai elevasi muka air laut rencana pada bangunan *Hybrid Engineering* berdasarkan data angin tahun 2010 – 2014 ditunjukkan pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Nilai Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Puncak Bangunan tahun 2010 - 2014

Bulan	HHWL	wave setup	wind setup	SLR	DWL	Run up	Tinggi Jagaan	elevasi puncak
Desember	1,974	0,167	1,784	0,00265	3,927	0,572	0,5	5,00
Januari	1,665	0,171	2,240	0,00265	4,078	0,521	0,5	5,10
Februari	1,848	0,167	1,784	0,00265	3,801	0,572	0,5	4,87
Maret	1,548	0,170	1,457	0,00265	3,177	0,506	0,5	4,18
April	1,224	0,167	2,526	0,00265	3,919	0,572	0,5	4,99
Mei	1,469	0,171	1,720	0,00265	3,363	0,480	0,5	4,34
Juni	1,219	0,000	0,000	0,00265	1,222	0,000	0,5	1,72
Juli	1,98	0,000	0,000	0,00265	1,983	0,000	0,5	2,48
Agustus	2,007	0,170	2,059	0,00265	4,239	0,506	0,5	5,24
September	1,981	0,170	1,802	0,00265	3,956	0,497	0,5	4,95
Oktober	1,998	0,170	1,802	0,00265	3,973	0,497	0,5	4,97
Nopember	1,928	0,170	2,059	0,00265	4,160	0,506	0,5	5,17

(Pengolahan Data, 2015)

Keterangan :

HHWL : *Highest High Water Level*Sw : *Wave set up* (Kenaikan muka air yang disebabkan oleh gelombang) Δh : *Wind set up* (Kenaikan muka air yang disebabkan oleh angin)SLR : *Sea Level Rise* (Kenaikan muka air yang disebabkan oleh pemanasan global)DWL : *Design Water Level* (Muka air rencana)*Run up* : elevasi maksimum yang dicapai oleh gerakan air yang bergerak ke atas lereng bangunan diukur dari muka air rerata (MSL)Tinggi Jagaan : Tinggi tambahan (*Free Board*) = 0,5 – 1 mElevasi Puncak : Elevasi maksimum bangunan yang didasarkan pada nilai *Run up* gelombang dan muka air rencana.

Gelombang Penyebab Kerusakan Bangunan

Hasil perhitungan diatas diketahui bahwa gelombang tertinggi terjadi pada musim barat yaitu antara Bulan Desember, Januari, dan Februari. Bangunan *Hybrid Engineering* ini dibangun pada bulan Nopember 2013 dan pada bulan Januari 2015 terjadi kerusakan, untuk mengetahui waktu terjadinya kerusakan tersebut maka dilakukan perhitungan yang lebih detail di bulan pada musim barat dan tahun antara pembangunan dan kerusakan yaitu di bulan Desember 2014 hingga Januari 2015. Hasil Perhitungan disajikan dalam **Tabel 9**.

Tabel 9. Nilai Hs dan Ts pada bulan Desember 2014 dan Januari 2015

Desember 2014		Januari 2015	
Hs (m)	Ts (s)	Hs (m)	Ts (s)
0,66	4,59	0,51	4,28
0,41	4,05	1,01	5,21
0,44	4,13	4,12	8,83
0,41	4,05	3,3	8,06
		0,51	4,28

(Pengolahan Data, 2015)

Menurut Purwanto (2015) bangunan Hybrid Engineering termasuk dalam bangunan pantai fleksibel dengan tinggi gelombang desain (H_D) 0,833 m dengan periode ulang 10 tahunan. Hasil pengolahan data bulan Desember 2014 dan bulan Januari 2015 didapatkan bahwa terdapat beberapa fenomena angin ekstrim yang menyebabkan gelombang tinggi melebihi nilai tinggi gelombang desain yang berpotensi mengakibatkan kerusakan pada bangunan *Hybrid Engineering*.

Untuk mengetahui tingkat kerusakan bangunan *Hybrid Engineering*, maka dilakukan perbandingan antara hasil pengolahan data dengan data awal pembangunan yang ditunjukkan pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Perbandingan Data Hasil Pengolahan Data Perencanaan Dan Januari 2015

	Perencanaan	Januari 2010 - 2014	Januari 2015	Keterangan
Hs (m)	0,047	0,59	2,73	Rusak
Ts (s)	4,85	4,35	6,13	Rusak
H'o (m)	0,6873	0,5	2,32	Rusak
Hb (m)	0,9107	0,626	2,44	Rusak
Sw (m)	0,147	0,17	0,08	Rusak
DWL (m)	1,055	4,07	12,86	Rusak
Run up (m)	0,0032	0,52	2,09	Rusak
Elevasi puncak (m)	1,558	5,10	15,45	Rusak
Tenaga Gelombang	2189	1065	31618	Rusak

(Pengolahan Data, 2015)

4. Kesimpulan

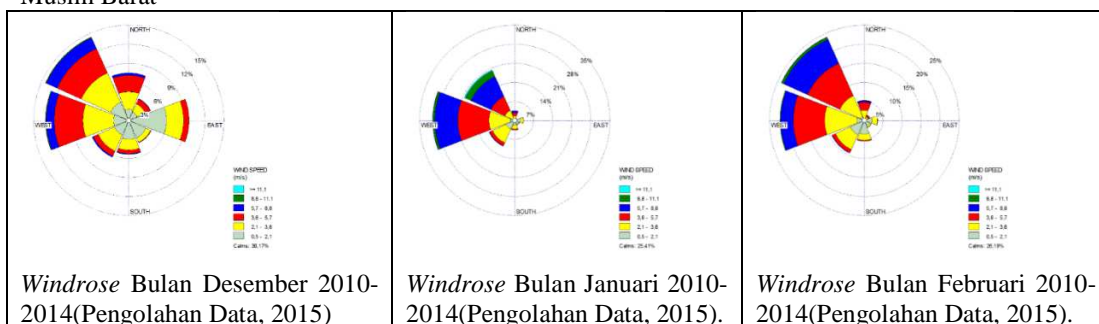
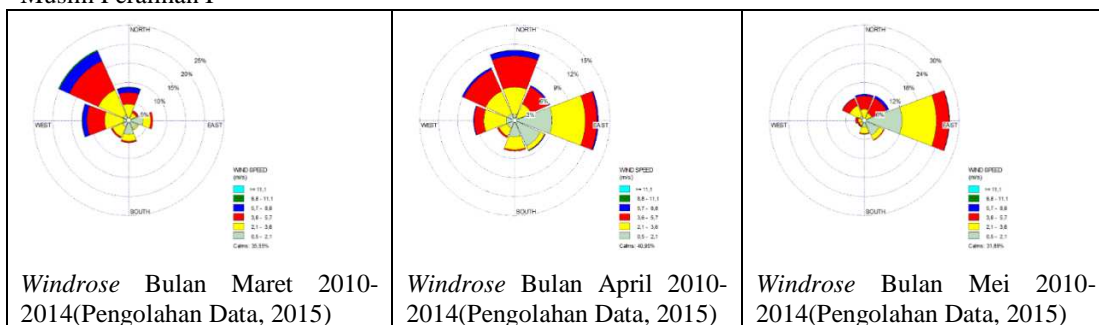
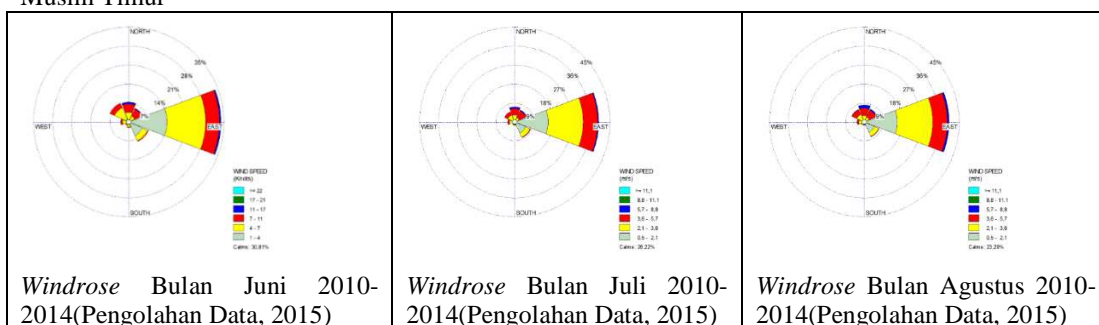
Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa kerusakan bangunan *Hybrid Engineering* di desa Timbulsloko, Demak disebabkan oleh adanya gelombang ekstrim yang memiliki tinggi gelombang maksimal sebesar 4,12 m dengan periode gelombang 8,83 detik.

Nilai variabel gelombang lain yang mempengaruhi kerusakan bangunan *Hybrid Engineering* yang terjadi pada bulan Januari 2015 antara lain adalah elevasi muka air rencana (DWL) sebesar 12,8 m, *run up* gelombang 2,09 m, elevasi puncak bangunan 15,45 m, dan tenaga gelombang 31.618 N per meter panjang puncak gelombang.

Hasil perbandingan data gelombang perencanaan bangunan pada bulan Mei-Juni 2013 dengan data gelombang ekstrim pada bulan Januari 2015 diketahui bahwa variabel – variabel gelombang pada saat terjadi gelombang ekstrim melebihi dari kemampuan toleransi bangunan yang mengakibatkan kerusakan pada bangunan *Hybrid Engineering*.

Daftar Pustaka

- Purwanto, 2011. Analisa Spektrum Gelombang Berarah di Pantai Kuta, Kabupaten Badung, Bali. Buletin Oseanografi Marina, Vol 1, 45 – 59.
- Purwanto, 2015. Kajian Tinggi Gelombang Rencana Bangunan *Permeable DamsHybrid Engineering* Desa Timblsloko, Demak. Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang. (dalam proses publikasi).
- Subardjo, P. 2004. Studi Morfologi Guna Pemetaan Rob di Pesisir Sayung Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Jurusan Ilmu Kelautan FPIK. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sugianto, D. N. 2013. Model Distribusi Data Kecepatan Angin dan Pemanfaatannya dalam Peramalan Gelombang di Perairan Laut Jawa. Program Doktor Teknik Sipil. FT Undip. Semarang.

Lampiran 1. Grafik Windrose tahun 2010 – 2014**Musim Barat****Musim Peralihan I****Musim Timur****Musim Peralihan II**